

П. П. Лазарев

Основы физики земли

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
П11

П11 **П. П. Лазарев**
Основы физики земли / П. П. Лазарев – М.: Книга по Требованию, 2023. –
142 с.

ISBN 978-5-458-59654-1

ISBN 978-5-458-59654-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение физических процессов, происходящих в земном шаре, составляет предмет обширной дисциплины, носящей название геофизики, или физики земного шара.

Область геофизики по существу охватывает как твердую оболочку земного шара с ее содержимым, так и жидкую и газообразную оболочку. Процессы во всех трех оболочках и составляют то, что мы можем назвать жизнью земли. Оболочки земного шара так тесно соприкасаются и так тесно связаны друг с другом, что трудно рассматривать одну какую-нибудь часть земли, не рассматривая других. Однако у нас есть практическое основание выделить твердую оболочку и изложить процессы, происходящие в ней, отдельно. Дело в том, что не только масса этой оболочки несравнимо больше массы жидкой и газообразной части земли, но и все, что связано с твердой землей, имеет огромное отношение к практической жизни и деятельности человека. Добыча руд, изучение подземных вод, землетрясения — вот те практические области, где твердая оболочка играет такую большую роль. Все это, вместе взятое, заставляет некоторых авторов (например, Морена) излагать отдельно учение о твердом теле земли, без изложения учения о жидкой и газообразной оболочке. Для нас в Союзе это тем более возможно, что для жидкой и газообразной оболочки имеются превосходные и популярные и строго научные книги, дающие возможность ближе ознакомиться с этими областями науки.

Наоборот, популярных книг в области учения о твердом теле земли у нас почти нет, и настоящая книжка имеет задачей пополнить этот пробел, дав начинающему читателю представление об этой быстро развивающейся области, области, где ученые нашей родины давно завоевали себе почетное имя. Стоит только назвать имена М. В. Ломоносова,

Д. И. Менделеева, П. Н. Лебедева, Б. Б. Голицына, чтобы убедиться, в том, что вопросы геофизики интересовали больших ученых. Современному поколению молодежи предстоит благодарная задача не только расширить и углубить работы своих предшественников, но и обосновать новые геофизические методы, которые позволят глубже проникнуть в строение земли и дадут возможность нашей промышленности шире использовать неисчерпаемые природные богатства Советской страны.

Москва

Институт теоретической геофизики
Академии наук СССР

Декабрь 1933 г.

ЗЕМНОЙ ШАР КАК КОСМИЧЕСКОЕ ТЕЛО

Глава I

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМНОГО ШАРА, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВАНИИ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 1. Определения шарообразной формы земли в древности, в средние века и в новое время

Земля при первом грубом ознакомлении с нею представляется наблюдателю то волнующейся поверхностью открытого океана, то поверхностью морей и больших озер, то плоскими равнинами, степями, волнистыми пустынями, то, наконец, цепями гор, иногда тянущимися параллельно, иногда пересекающими друг друга и образующими местами высокие вершины, покрытые вечным снегом.

Обычный грубый опыт повседневной жизни, проделанный на ограниченном участке твердой земли, не дает представления об истинной шарообразной ее форме и только сложные геодезические измерения, выполненные на поверхности земного шара, могут дать понятие об истинной фигуре земли.

Переход от представления о земле как о плоском, твердом, неизменном теле к ее научному изучению, связанному с правильной оценкой формы и размеров земного шара, совершался очень медленно, отражая на себе влияние борьбы науки с суевением, с религиозными и мистическими пред-
рассудками.

Пока приемы правильного мышления, связанные с применением логики, и основы естествознания не стали практически известны широкому кругу людей, научные данные

о форме нашей планеты были достоянием только немногих передовых ученых и философов. Обычный опыт мешал человечеству принять истины науки, которые, как казалось, противоречили здравому смыслу и ежедневному опыту. Только постепенно, шаг за шагом расширяя свой кругозор, человечество пришло к правильным представлениям о фигуре и размерах земли.

Несомненно, что первые проблески верных заключений о форме земли были связаны с мореплаванием, и наблюдение приближающихся к исследователю из-за горизонта кораблей дало прежде всего уверенность, что земная поверхность не является плоскостью, а представляется выпуклой фигурой. В самом деле, если бы земля была плоскостью, то приближающийся к нам корабль был бы с самого начала виден весь, между тем в действительности мы сначала видим вершины мачт, потом их средние части и, наконец, при еще большем приближении остов судна. Подобное явление возможно только при условии, что земля есть выпуклое тело.

Ряд ученых (Франкер, Жомар, Нетлинг и др.), изучая архитектурные памятники, оставшиеся от древних египтян, и находя интересные соотношения размеров пирамид и их частей с размерами меридиана земли Египта, полагали, что еще в древности более чем за 1600 лет до нашей эры люди имели ясное представление не только о фигуре земли, но и могли произвести на поверхности земли измерения, давшие точные размеры шара, являющегося местом жизни человечества. Однако с этими заключениями едва ли можно согласиться и, зная хорошо инструменты, доступные древним, их технические возможности, с одной стороны, и методы современной науки и техники, — с другой, мы должны прийти к заключению, что совпадение некоторых размеров пирамид с размерами части меридиана является случайным и несомненно, что греческим ученым принадлежат первые глубокие исследования в области изучения фигуры земли.

Трудность исследований в этой области, весьма значительная вследствие размеров земли, усугублялась еще тем, что под влиянием религиозных учений и мифологии многое, добытое учеными, игнорировалось, забывалось и получали широкое распространение примитивные, окутанные мистикой, поэтические взгляды на мироздание, на землю и ее строение. В эпоху блестящего развития греческой науки ученым приходилось часто под давлением внешних обстоятельств, связанных с суевериями, скрывать уже добытые и

доказанные наукой факты, неудобные религии. Подобное явление в учении о вселенной мы имеем не только в древности и в средние века, но и в новейший период истории, когда церковь отвергала и отвергает истины, добытые точным естествознанием.

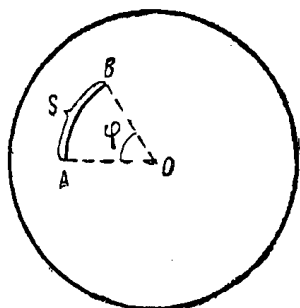
Мы приведем только два разительных примера, взятых из истории древней Греции и из истории Италии в эпоху Галилея. В Греции гениальные поэтические творения Гомера распространили среди широких масс идею о плоской земле и круглом хрустальном своде неба; и таким ученым как Фалес, Геродот, Платон, Пифагор, знавшим уже многое о форме земли, приходилось скрывать добытые и строго доказанные наукой факты, не признаваемые религией. Еще более поразительные противоречия между истинами науки и религиозными учениями мы находим в Италии в эпоху работ Галилея, когда только что возникшее учение Коперника о вращении земли вокруг солнца не только подверглось оспариванию и гонениям, но когда ряду ученых развитие и поддержка этого учения стоило жизни.

Возвращаясь к греческой науке за 600—500 лет до нашей эры, мы видим, что общие условия, существовавшие в Греции, были неблагоприятны для развития учения о земле, для развития наук, названных впоследствии геодезией и геофизикой. Однако уже за 500 с лишком лет до нашей эры знаменитый греческий философ и математик Пифагор учил, что земля кругла. Величайший философ и ученый древней Греции Аристотель, бывший воспитателем и учителем Александра Македонского, более чем за 300 лет до нашей эры не только привел доказательства о шаровидной форме земли, но и дал ее размеры, не указывая впрочем способа их измерения. Переводя размеры четверти меридиана (так называемого квадранта), выраженные у Аристотеля в стадиях, в метры, мы находим число от $1,58 \cdot 10^7$ до $1,85 \cdot 10^7$ м (смотря по размерам стадий). В настоящее время измерения квадранта дают число $1,00 \cdot 10^7$ м. Порядок величины, как мы видим, во всяком случае Аристотелем указан правильно.

Спустя почти 100 лет после Аристотеля, знаменитый директор Александрийской Библиотеки Эратосфен дал первый точный прием определения размеров земли, принимаемой за шар. Эратосфен поступал при своих исследованиях так же, как поступают и в настоящее время геодезисты. Он определял из непосредственных измерений на поверхности земли дугу большого круга $AB = S$ (фиг. 1), проходящую

через две точки A и B , лежащие на поверхности земного шара. Одновременно при помощи астрономических измерений он находил угол $AOB = \varphi$. Деля S на угол φ , выраженный в дуговых единицах, он мог вычислить радиус земли $R = \frac{S}{\varphi}$.

Зная радиус земного шара, можно найти окружность большого круга его и его четверть — квадрант.



Фиг. 1

Измерения Эратосфена дали для квадранта земли величину $1,156 \cdot 10^7$ м, доставляя еще большее приближение к истинной величине квадранта, чем это получил Аристотель.

После Эратосфена измерения квадранта были в древности повторены Героном (около 200 лет до нашей эры) и Посидонием (около 140 лет до нашей эры):

В средние века (в 827 г. нашей эры) были выполнены замечательные измерения дуги меридиана по предписанию калифа Альмамума арабскими учеными Калид-бен-Абдулмеликом и Али-бен-Изой.

Измерения дуги S и угла φ были произведены около современного Мосула и были повторены дважды, дав разницу в результатах всего в $1,2\%$.

§ 2. Триангуляция и главные результаты градусных измерений на земле, рассматриваемой как шар

Новую эпоху в области геодезических измерений составили работы Снеллиуса (1580—1626), который дал возможность удобно и легко измерять значительные расстояния на поверхности земли. Снеллиус исходил из следующих соображений. Определить непосредственно расстояние AB (фиг. 2), имеющее длину сотни или тысячи километров, представляется делом очень кропотливым и сложным. Измерение углов даже с весьма значительной точностью является, наоборот, делом простым и легким. Исходя из этого соображения, Снеллиус свел измерения большого расстояния AB к измерениям малого расстояния Aa в десятки километров и к измерению ряда углов, зная которые, можно вычислить и длину AB . Для выполнения задачи Снел-

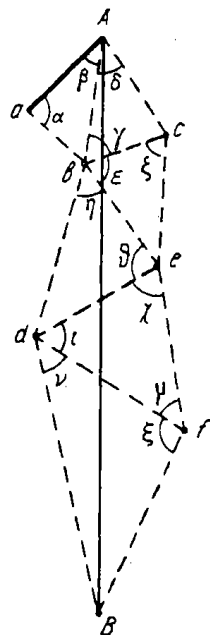
лиус намечает около дуги большого круга, соединяющей точки A и B , ряд пунктов b, c, d, e, f .

Угломерным инструментом определяются углы $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta, \eta, \theta, \iota, \chi, \mu, \nu, \xi$. Зная расстояние Aa и углы, можно последовательно вычислить длины сторон треугольников: ab и Ab (из треугольника Aab), где длина стороны Aa найдена непосредственно измерением; Ac и bc (из треугольника Abc), be и ce (из треугольника bce), и т. д. Зная длины сторон всех треугольников, можно вычислить и длину AB .

Метод Снеллиуса получил название триангуляции, причем непосредственно измеренная длина Aa получила название базиса. Прием Снеллиуса не только ускорил и упростил определения длин на поверхности земли, но и создал метод изучения формы земли, на котором основаны все новейшие геодезические исследования, давшие точное представление о фигуре нашей планеты.

По способу Снеллиуса были произведены знаменитые исследования французского академика Пикара (1669—1670), развившие методику измерений и легшие в основу работ Ньютона о сущности сил всемирного тяготения. Пикар впервые применил для угломерных измерений трубы, что значительно уточнило исследования.

В табл. 1 мы сопоставим измерения квадранта земли, рассматриваемой как шар.



Фиг. 2

Таблица 1

Автор	Длина четверти земного меридиана (квадранта) в м
Аристотель	$1,850 \cdot 10^7$
Эратосфен	$1,156 \cdot 10^7$
Посидоний	$1,100 \cdot 10^7$
Арабские ученые	$1,0608 \cdot 10^7$
Снеллиус и Мушенбрек	$1,0004 \cdot 10^7$
Пикар	$1,0009 \cdot 10^7$

стадия древних
принята равной
185 м

Мы видим, как по мере уточнения методов измеренная величина квадранта непрерывно приближалась к его точной величине $1,00 \cdot 10^7$ м, служащей для определения метра.

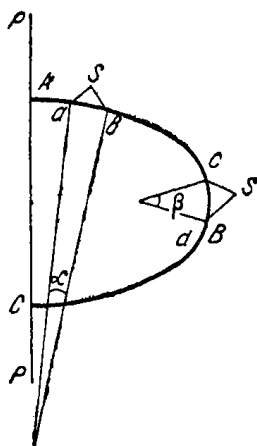
Так как из определения длины дуги большого круга на поверхности земли и из измерения угла, соответствующего этой дуге, легко определить длину дуги в 1 градус меридиана, то указанные выше измерения на поверхности земного шара получили название градусных измерений.

Приведенные выше исследования формы земли показали, что она в первом приближении представляет собой шар с радиусом около 6 400 км. Если принять во внимание, что неровности поверхности земли — горы и дно океанов — не превосходят десяти километров, то с точностью до 0,0016 измеряемой величины можно представить на основании предыдущих исследований землю как шар; поверхность шара показывает, таким образом, неровности, не превосходящие 0,2% от длины радиуса.

§ 3. Сплюснутость земного шара.

Новейшие успехи геодезии

Новую эпоху в учении о форме земного шара составил конец 1600-х годов, когда впервые были сделаны определения радиуса земли в разных широтах.



Фиг. 3

Если бы земля была шаром, то градусные измерения, дающие величину земного радиуса, произведенные в любых частях земной поверхности, давали бы везде одинаковую величину радиуса. Совершенно другое было бы, если бы поверхность земли была образована вращением некоторой кривой, например, вращением эллипса ABC около одной из его осей, как оси вращения PP' (фиг. 3).

Находя радиус ρ меридианного сечения из отношения дуги ab , деленной на соответствующий угол α , мы получим, что радиус $\rho = \frac{s}{\alpha}$ не-

прерывно изменяется от A , где радиус наибольший, к B , где он наименьший. То же выражают, говоря, что кривизна кривой в A меньше, чем в B .

Для каждой кривой имеется определенный закон изменения кривизны вдоль кривой и, зная из опыта значения радиуса кривизны или кривизны в нескольких точках кривой, можно знать, какую форму имеет меридиан ABC изучаемого тела вращения.

К началу градусных работ в разных широтах земли было известно из гениальных исследований Ньютона, что вращающееся жидкое тело, каким должна была быть земля до момента ее остывания, должно образовать сплюснутое тело.

Первые исследования этого вопроса, выполненные французскими исследователями во главе с Кассини, показали, что земля является не сплюснутым, а вытянутым вдоль оси телом, так что кривизна увеличивается от экватора к полюсам. Это противоречило ньютоновским исследованиям. Вопрос был крайне важен не только для геодезии, но и для физики и механики, и проблема определения фигуры земли так живо заинтересовала широкую публику, что даже неспециалисты принимали участие в споре за и против ньютоновской теории тяготения, позволявшей определить теоретически форму нашей планеты.

Знаменитый французский писатель и философ Вольтер, сделавшийся во время ссылки в Англию горячим сторонником Ньютона и его учения о тяготении, резко восставал против своих соотечественников, в большинстве случаев стоявших на стороне Кассини.

Интересно отметить, что духовенство, принявшее близкое участие в этом споре, пользовалось часто совершенно недопустимыми в научных дебатах, наивными аргументами. Например, яйцевидность земли отстаивалась на том основании, что форма яйца является прообразом всего живущего на земле.

Спор сторонников и противников Ньютона дал повод к новым измерениям дуги меридиана на севере земного шара в Лапландии (Мопертюи и Клеро), на юге в Перу (Годен, Ла-Кондамин и Буге) и в средних широтах (Араго).

Особенно замечательны исследования, выполненные в Перу. Трудности, которые здесь приходилось преодолевать исследователям, были огромны. Дикари, среди которых приходилось жить участникам экспедиции, постоянно уничтожали геодезические знаки. Во время нападения в 1739 г. один из участников экспедиции был убит. Все измерения были произведены в местах, лежащих выше 2,5 км над уровнем моря, что еще увеличивало сложность работ.

Когда смелые и настойчивые ученые, предпринявшие знаменитые градусные измерения, вернулись во Францию, Вольтер приветствовал их стихами:

Творцы естественных наук в погоне за Колхидой новой,
Перебрались за океан и через гор хребет суровый,
Величием своих работ весь свет и землю поразили,
Когда так верно общий вид ее схватив — определили.

(Перевод Витковского)

В результате замечательных исследований французских ученых стало ясно, что земля является телом сплюснутым вдоль оси вращения, как этого требовала теория Ньютона, а не вытянутым, как утверждал на основании своих наблюдений Кассини. По поводу исследований в Перу и в Лапландии, установивших сплюснутую форму земли, Вольтер сказал, что участники экспедиции сплюснули не только землю, но и Кассини. С 1792 по 1798 г. французские ученые Мешень, Деламбр и Араго по постановлению Законодательного Собрания Великой французской революции выполнили новое и тщательное градусное измерение. Работа эта, предпринятая для установления метрической системы мер, является до сих пор классической и знаменует собой эпоху в области учения о фигуре земли.

Последующие периоды ознаменовались широко поставленными триангуляционными работами, предпринятыми в Германии (Гаусс и Бессель) и в особенности в России (Струве и Теннер); работы в России долгое время были несравнимым образцом по своей тщательности, точности и объему. Дуга меридиана, измеренная Струве и Теннером, превосходила 25° .

В последнее время в Америке и Европе были выполнены еще более обширные градусные измерения. До 1919 г. очень мало работ было в южном полушарии. За последние годы как раз в этой области сделано большое количество триангуляций в Аргентине, Бразилии и в Африке.

Мы должны особо отметить успехи геодезических работ в СССР. Чтобы дать понятие о росте работ в области геодезии, укажем, что до Октябрьской революции общее протяжение всех базисов в нашей стране достигало 50 км. К 1936 г. протяжение базисов было равно 1338 км, то есть общая протяженность всех базисов возросла за время советской власти в 26 с лишком раз. Число исследованных пунктов увеличилось в 13 с лишком раз. Если к этому прибавить увеличение в 15 с лишком раз числа пунктов, где определена сила тяжести, позволяющая также судить о фор-